






**MULTIPLE COIL ANTENNA FOR INDUCTIVELY-COUPLED
PLASMA GENERATION SYSTEMS****Publication number:** JP2002519861 (T)**Publication date:** 2002-07-02**Inventor(s):****Applicant(s):****Classification:**

- international: **H05H1/46; H01J37/32; H01L21/205;
H01L21/302; H01L21/3065; H05H1/46;
H01J37/32; H01L21/02; (IPC1-
7): H01L21/3065; H01J37/32; H01L21/205;
H05H1/46**

- European: **H01J37/32H1D**

Application number: JP20000557486T 19990618**Priority number(s):** US19980106852 19980630;
WO1999US12808 19990618**Also published as:** WO0000993 (A1) US6463875 (B1) US6164241 (A) TW510149 (B) EP1092229 (A1)

more >>

Abstract not available for JP 2002519861 (T)

Abstract of corresponding document: **WO 0000993 (A1)**

A radio frequency plasma multiple-coil antenna allows for controllable, uniform inductive coupling within a plasma reactor. According to exemplary embodiments, multiple coils are positioned on a dielectric window of a plasma chamber, and are powered by a single radio frequency generator and tuned by a single matching network. Each coil is either planar or a combination of a planar coil and a vertically stacked helical coil. The input end of each coil is connected to an input tuning capacitor and the output end is terminated to the ground through an output tuning capacitor. The location of the maximum inductive coupling of the radio frequency to the plasma is mainly determined by the output capacitor, while the input capacitor is mainly used to adjust current magnitude into each coil.; By adjusting the current magnitude and the location of the maximum inductive coupling within each coil, the plasma density in different radial and azimuthal regions can be varied and controlled, and therefore, radially and azimuthally uniform plasma can be achieved.

Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

Serial No. 10/748,277
Filed: December 31, 2003
Attorney Docket 249/409

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号
特表2002-519861
(P2002-519861A)

(43) 公表日 平成14年7月2日 (2002.7.2)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマート* (参考)
H 0 1 L 21/3065		H 0 1 J 37/32	5 F 0 0 4
H 0 1 J 37/32		H 0 1 L 21/205	5 F 0 4 5
H 0 1 L 21/205		H 0 5 H 1/46	L
H 0 5 H 1/46		H 0 1 L 21/302	B

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2000-557486(P2000-557486)
 (86) (22) 出願日 平成11年6月18日 (1999.6.18)
 (85) 翻訳文提出日 平成12年12月28日 (2000.12.28)
 (86) 国際出願番号 PCT/US99/12808
 (87) 国際公開番号 WO00/00993
 (87) 国際公開日 平成12年1月6日 (2000.1.6)
 (31) 優先権主張番号 09/106,852
 (32) 優先日 平成10年6月30日 (1998.6.30)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

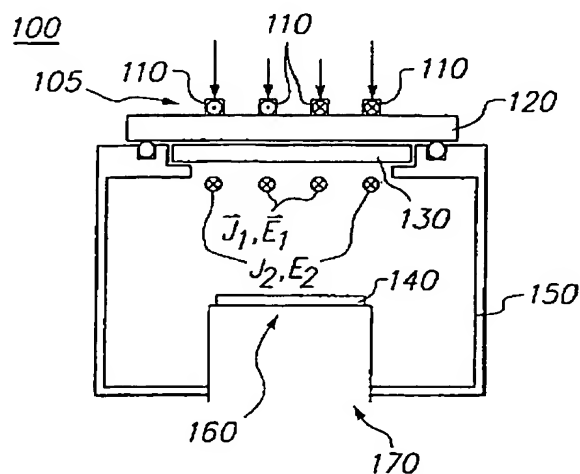
(71) 出願人 ラム リサーチ コーポレーション
 LAM RESEARCH CORPORATION
 アメリカ合衆国、カリフォルニア 95038,
 フレモント、クッシング パークウェイ
 4650
 (72) 発明者 チェン, ジアン, ジェイ.
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州94536,
 フレモント、ヘイスティングス スト
 リート 38680, アpartment エー
 103
 (74) 代理人 弁理士 大塚 康德 (外2名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 誘導結合型プラズマ発生システム用の複数コイル・アンテナ

(57) 【要約】

高周波プラズマ複巻コイル・アンテナは、プラズマ反応器内で制御可能な均一な誘導結合を可能にする。一例としての実施形態によれば、複数のコイルがプラズマ・チャンパの誘電体ウィンドウ上に配置され、単一の高周波発生器によって電力供給され、単一の整合回路網によって調整される。各コイルは平面的なコイルか、または平面的なコイルと垂直方向に積み重なったらせん状のコイルの組合せのいずれかである。各コイルの入力端部は入力側調整コンデンサに接続され、出力端部は出力側調整コンデンサを介して接地に終端される。プラズマへの高周波の最大誘導結合の場所は、主として出力側コンデンサによって決定され、入力側コンデンサは、主として各コイルへの電流の大きさを調整するために使用される。各コイル内の電流の大きさおよび最大誘導結合の場所を調整することによって、異なる半径方向方位角領域内のプラズマ密度を変化させ制御することができ、したがって半径方向に方位角的に均一なプラズマを得ることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 誘導結合型プラズマを発生させるための装置であって、

チャンバ中に電磁界経路を形成するウィンドウと該チャンバ中にプロセス・ガスを導入するように構成されたプロセス・ガス供給源とを有するプラズマ反応チャンバと、

前記チャンバのウィンドウに近接して配設された少なくとも第 1 および第 2 のアンテナ・セグメントを含む高周波アンテナと、

前記アンテナ・セグメントに結合され、前記アンテナ・セグメント中の高周波電流を共振させるように構成された高周波発生源と、を備え、

前記高周波電流によって誘導された電磁界は、前記ウィンドウを通過し、プロセス・ガスを励起してイオン化し、それによりチャンバ内にプラズマを発生させ、かつ、

前記第 1 のアンテナ・セグメントが、前記第 2 のアンテナ・セグメントを取り囲んでいることを特徴とする装置。

【請求項 2】 発生するプラズマの密度が、前記少なくとも第 1 および第 2 のアンテナ・セグメントがまたがる領域内で実質的に均一であることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】 前記少なくとも第 1 および第 2 のアンテナ・セグメントが、それぞれ、高周波電力を前記チャンバ中の異なる領域に結合し、これにより、前記チャンバ中に全体的に均一なプラズマを発生させることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】 前記少なくとも第 1 および第 2 のアンテナ・セグメントが、単巻コイルからなることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】 前記第 1 のアンテナ・セグメントが単巻コイルからなり、前記第 2 のアンテナ・セグメントが複巻コイルからなることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 6】 前記少なくとも第 1 および第 2 のアンテナ・セグメントが、複巻コイルからなることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 7】 更に、

同じ電流又は異なる電流が得られるように、前記少なくとも第1および第2のアンテナ・セグメントの電流を調整するための少なくとも1つの入力側調整コンデンサを含むことを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項8】 前記少なくとも1つの入力側調整コンデンサが、

各々の前記アンテナ・セグメントにより大きい電流を供給し、これにより前記アンテナ・セグメントに隣接するプラズマ領域への高周波電力結合がより大きくなるか、又は、

各々の前記アンテナ・セグメントにより小さい電流を供給し、これにより前記プラズマ領域への電力結合がより小さくなることを特徴とする請求項7に記載の装置。

【請求項9】 一对のアンテナ・セグメントの電流を調整するために一对の入力側コンデンサが使用され、それらが1回の制御により反対方向に回転されるように構成されていることを特徴とする請求項7に記載の装置。

【請求項10】 前記少なくとも第1および第2のアンテナ・セグメントが単一の高周波電力源によって電力供給され、単一の整合回路網によって調整されることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項11】 第1および第2のアンテナ・セグメントの出力端部が結合され、インピーダンスを介して接地に終端されていることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項12】 前記第1および第2のアンテナ・セグメントの出力端部が、別個の出力側固定コンデンサまたは出力側可変コンデンサを介して接地に終端されていることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項13】 各々の出力コンデンサが、各アンテナ・セグメントに沿った電流極値または電圧極値の場所を調整することを特徴とする請求項12に記載の装置。

【請求項14】 前記第1および第2のアンテナ・セグメントにおける最大電流の場所が、第2のアンテナ・セグメントに対する第1のアンテナ・セグメントの回転位置によって決まり、

前記出力側コンデンサは、さらに、電流最大値の場所が方位角的に約180度

離れ、かつ半径方向に互いに対向するように前記場所を調整し、それにより方位角不均一電流分布によるプラズマ方位角不均一性を大幅に低減することを特徴とする請求項 1 2 に記載の装置。

【請求項 1 5】 一対の出力コンデンサが前記第 1 および第 2 のアンテナ・セグメント中の電流を調整し、それらは 1 回の制御により反対方向に回転されるように構成されていることを特徴とする請求項 1 2 に記載の装置。

【請求項 1 6】 前記第 1 および第 2 のアンテナ・セグメントは、共面の二次元構成、非平面的な三次元構成、またはその組合せで構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 1 7】 前記第 1 および第 2 のアンテナ・セグメントが同心状に構成されており、一方の前記アンテナ・セグメントが他方の前記アンテナ・セグメントよりも小さい直径を有することを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 1 8】 前記三次元構成が、ドーム状又はらせん状であることを特徴とする請求項 1 6 に記載の装置。

【請求項 1 9】 各々の前記アンテナ・セグメントの形状が、ほぼ円形であることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 2 0】 前記少なくとも第 1 および第 2 のアンテナ・セグメントが、前記チャンバのウィンドウの外表面に近接して配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 2 1】 前記第 1 および第 2 のアンテナ・セグメントの電流が前記セグメントの周りに同じ方位角方向に流れることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 2 2】 誘導結合型プラズマを発生させるための装置であって、チャンバ中に電磁界経路を形成するウィンドウと、前記チャンバ中にプロセス・ガスを導入するように構成されたプロセス・ガス供給源とを有するプラズマ反応チャンバと、

前記チャンバのウィンドウに近接して配置された少なくとも第 1 および第 2 の複巻アンテナ・セグメントを含む高周波アンテナと、

前記アンテナ・セグメントに結合され、前記アンテナ・セグメント中の高周波

電流を共振させるように構成された高周波発生源と、を備え、

前記高周波電流によって誘導された電磁界は、前記ウィンドウを通過し、プロセス・ガスを励起してイオン化し、それにより前記チャンバ内にプラズマを発生させ、また、

前記第１の複巻アンテナ・セグメントが、前記第２の複巻アンテナ・セグメントを取り囲む外側コイルであることを特徴とする装置。

【請求項２３】 発生したプラズマの密度が、前記第１および第２の複巻アンテナ・セグメントがまたる領域で実質的に均一であることを特徴とする請求項２２に記載の装置。

【請求項２４】 前記少なくとも第１および第２のアンテナ・セグメントの、それぞれ高周波電力を前記チャンバ中の異なる領域に結合し、これにより前記チャンバ中に全体的な均一なプラズマが発生させることを特徴とする請求項２２に記載の装置。

【請求項２５】 前記第１の複巻アンテナ・セグメントが平面的な複巻コイルとして構成されており、前記第２の複巻アンテナ・セグメントが第１および第２の部分をもつことを特徴とする請求項２２に記載の装置。

【請求項２６】 前記第２の複巻アンテナ・セグメントの前記第１の部分が平面的な複巻コイルとして構成されており、前記第２の複巻アンテナ・セグメントの前記第２の部分がらせん状のコイルとして構成されていることを特徴とする請求項２５に記載の装置。

【請求項２７】 前記第２の部分には、さらに、前記らせん状のコイル内に中空の誘電体シリンダが設けられ、該中空の誘電体シリンダの中空領域が前記プロセス・チャンバに直接接続されていることを特徴とする請求項２６に記載の装置。

【請求項２８】 前記らせん状のコイルと前記中空の誘電体シリンダは、プラズマが、前記チャンバ内で、より低い圧力で当たるように構成されており、これにより前記プロセス・チャンバの中心部におけるプラズマ密度が高くなることを特徴とする請求項２７に記載の装置。

【請求項２９】 前記第１の複巻アンテナ・セグメントが、第１の平面的な

部分と第2の非平面的な部分とを有し、前記第2の複巻アンテナ・セグメントが第1の平面的な部分と第2の非平面的な部分とを有することを特徴とする請求項22に記載の装置。

【請求項30】 前記第1の複巻アンテナ・セグメントの前記第2の部分が、らせん状のコイルとして構成されていることを特徴とする請求項29に記載の装置。

【請求項31】 前記第2の複巻アンテナ・セグメントの前記第2の部分が、らせん状のコイルとして構成されていることを特徴とする請求項29に記載の装置。

【請求項32】 前記第1の複巻アンテナ・セグメントの全長が、第2の複巻アンテナ・セグメントの全長と同等であり、それにより前記アンテナ・セグメント中の電流が、より大きい程度まで調整されることを特徴とする請求項22に記載の装置。

【請求項33】 更に、

同じ電流又は異なる電流が得られるように、前記少なくとも第1および第2のアンテナ・セグメント内の電流を調整するための少なくとも1つの入力側調整コンデンサを含むことを特徴とする請求項22に記載の装置。

【請求項34】 前記少なくとも1つの入力側調整コンデンサが、

各アンテナ・セグメントにより大きい電流を供給し、これにより前記アンテナ・セグメントに隣接するプラズマ領域への高周波電力結合がより大きくなるか、又は、

各アンテナ・セグメントにより小さい電流を供給し、これにより前記プラズマ領域への電力結合がより小さくなることを特徴とする請求項33に記載の装置。

【請求項35】 前記第1および第2のアンテナ・セグメント中の電流を調整するために一対の入力側コンデンサが使用され、それらが1回の制御により反対方向に回転されるように構成されていることを特徴とする請求項33に記載の装置。

【請求項36】 前記少なくとも第1および第2のアンテナ・セグメント、が単一の高周波電力源によって電力供給され、単一の整合回路網によって調整さ

れることを特徴とする請求項 22 に記載の装置。

【請求項 37】 前記第 1 および第 2 のアンテナ・セグメントの出力端部が、別個の出力側固定コンデンサまたは出力側可変コンデンサを介して接地に終端されていることを特徴とする請求項 22 に記載の装置。

【請求項 38】 各出力コンデンサが、各アンテナ・セグメントに沿った電流極値または電圧極値の場所を調整することを特徴とする請求項 37 に記載の装置。

【請求項 39】 前記第 1 および第 2 のアンテナ・セグメントにおける電流最大値の場所が、前記第 2 のアンテナ・セグメントに対する前記第 1 のアンテナ・セグメントの回転位置によって決まり、

前記出力側コンデンサは、さらに、電流最大値の場所が方位角的に約 180 度離れ、かつ半径方向に互いに対向するように前記場所を調整し、それにより方位角不均一電流分布によるプラズマ方位角不均一性を大幅に低減することを特徴とする請求項 37 に記載の装置。

【請求項 40】 前記第 1 および第 2 のアンテナ・セグメント中の電流を調整するための一対の出力コンデンサが使用され、それらが 1 回の制御により反対方向に回転されるように構成されていることを特徴とする請求項 37 に記載の装置。

【請求項 41】 電流最大値の場所を、前記第 2 の複巻アンテナ・セグメントの前記第 1 の部分か又は前記第 2 の部分にシフトするための出力側コンデンサが使用され、これにより前記複巻アンテナ・セグメントから前記プラズマへの電力結合に変化が生じることを特徴とする請求項 26 に記載の装置。

【請求項 42】 電流最大値の場所を、前記第 2 の複巻アンテナ・セグメントの前記第 1 の部分か又は前記第 2 の部分にシフトするための出力側コンデンサが使用され、これにより前記複巻アンテナ・セグメントから前記プラズマへの電力結合に変化が生じることを特徴とする請求項 30 に記載の装置。

【請求項 43】 電流最大値の場所を第 2 の複巻アンテナ・セグメントの第 1 の部分かまたは第 2 の部分にシフトするために出力コンデンサが使用され、その結果、複巻アンテナ・セグメントからプラズマへの電力結合に変化が生じるこ

装

とを特徴とする請求項 3 1 に記載の装置。

【請求項 4 4】 さらに、前記出力側コンデンサに関連する入力側コンデンサを含み、

前記入力側コンデンサの調整の結果、高周波数の全入カインピーダンスが比較的不変に維持され、それにより一方の複巻アンテナ・セグメント中の電流が他方の複巻アンテナ・セグメント中の電流に影響を及ぼさなくなることを特徴とする請求項 4 1 に記載の装置。

【請求項 4 5】 さらに、前記出力側コンデンサに関連する入力側コンデンサを含み、

前記入力コンデンサの調整の結果、高周波数の全入カインピーダンスが比較的不変に維持され、それにより一方の複巻アンテナ・セグメント中の電流が他方の複巻アンテナ・セグメント中の電流に影響を及ぼさなくなることを特徴とする請求項 4 2 に記載の装置。

【請求項 4 6】 さらに、前記出力側コンデンサに関連する入力側コンデンサを含み、

前記入力側コンデンサの調整の結果、高周波数の全入カインピーダンスが比較的不変に維持され、それにより一方の複巻アンテナ・セグメント中の電流が他方の複巻アンテナ・セグメント中の電流に影響を及ぼさなくなることを特徴とする請求項 4 3 に記載の装置。

【請求項 4 7】 前記第 1 および第 2 のアンテナ・セグメントが同心状に構成されており、一方の前記アンテナ・セグメントが他方の前記アンテナ・セグメントよりも小さい直径を有することを特徴とする請求項 2 2 に記載の装置。

【請求項 4 8】 前記少なくとも第 1 および第 2 のアンテナ・セグメントが前記チャンパのウィンドウの外表面に近接して配置されていることを特徴とする請求項 2 2 に記載の装置。

【請求項 4 9】 前記第 1 および第 2 のアンテナ・セグメント内の電流が前記セグメントの周りに同じ方位角方向に流れることを特徴とする請求項 2 2 に記載の装置。

【請求項 5 0】 誘導結合型プラズマを発生させるための装置であって、

チャンバ中に電磁界経路を形成するウィンドウと、該チャンバ中にプロセス・ガスを導入するように構成されたプロセス・ガス供給源とを有するプラズマ反応チャンバと、

前記チャンバのウィンドウに近接して配置された同様の形状の2つのアンテナ・セグメントを含む高周波アンテナと、

前記アンテナ・セグメントに結合され、前記アンテナ・セグメント中の高周波電流を共振させるように構成された高周波発生源と、を備え、

前記高周波電流によって誘導された電磁界は、前記ウィンドウを通過し、プロセス・ガスを励起してイオン化し、それにより前記チャンバ内にプラズマを発生させ、また、

前記2つのアンテナ・セグメントが離間し、中心軸の周りに対称に配置されていることを特徴とする装置。

【請求項51】 各アンテナ・セグメントがD字形であり、半円とその直径に略沿った直線とから構成されていることを特徴とする請求項50に記載の装置。

【請求項52】 前記アンテナ・セグメントの直線が互いに平行であり、前記ウィンドウの中心領域を覆い、これにより前記中心軸の周りに対称的なプラズマ密度が生じることを特徴とする請求項51に記載の装置。

【請求項53】 前記2つのアンテナ・セグメントの入力端部が結合され、また、

前記2つのアンテナ・セグメントの出力端部が結合され、かつ、可変コンデンサを介して接地に終端されていることを特徴とする請求項50に記載の装置。

【請求項54】 前記2つのアンテナ・セグメントの前記直線中の電流が同じ方向に流れることを特徴とする請求項51に記載の装置。

【請求項55】 前記アンテナ・セグメントが単一の高周波電力源によって電力供給され、単一の整合回路網によって調整されることを特徴とする請求項50に記載の装置。

【請求項56】 発生したプラズマの密度が、前記アンテナ・セグメントがまたがる領域内で実質的に均一であることを特徴とする請求項50に記載の装置

。 【請求項 57】 前記アンテナ・セグメントが、それぞれ、高周波電力を前記チャンバの異なる領域中に結合し、これにより前記チャンバ中に全体的に均一なプラズマが生じることを特徴とする請求項 50 に記載の装置。

【請求項 58】 前記アンテナ・セグメントが、前記チャンバのウィンドウの外表面に近接して配置されていることを特徴とする請求項 50 に記載の装置。

【請求項 59】 プラズマ反応チャンバ用の誘導結合型プラズマ・アンテナ・システムであって、

離間した第 1 および第 2 の同心電流経路を備え、

前記同心電流経路内の電流が、同じ方向に流れることを特徴とするシステム。

【請求項 60】 前記同心電流経路が、高周波電力を、前記チャンバ中の半径方向及び方位角的に異なる領域に結合し、かつ、前記チャンバ中で均一なプラズマ分布が得られるように協働することを特徴とする請求項 59 に記載の装置。

【請求項 61】 前記同心電流経路が、共面二次元構成、非平面的な三次元構成、またはその組合せで構成されていることを特徴とする請求項 59 に記載の装置。

【請求項 62】 半導体基板の露出した表面を、請求項 1 に記載の装置中で形成されたプラズマに接触させることによって処理する方法。

【請求項 63】 半導体基板の露出した表面を、請求項 22 に記載の装置中で形成されたプラズマに接触させることによって処理する方法。

【請求項 64】 半導体基板の露出した表面を、請求項 50 に記載の装置中で形成されたプラズマに接触させることによって処理する方法。

【請求項 65】 半導体基板の露出した表面を、請求項 59 に記載の装置中で形成されたプラズマに接触させることによって処理する方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

<発明の分野>

本発明は、半導体基板などの材料を処理するためのプラズマ反応器に関する。より詳細には、本発明は、プラズマ反応器内の誘導結合均一性を改善するためのシステムに関する。

<発明の背景>

プラズマの発生は様々な半導体製造プロセス、例えばプラズマ・エッチング及び堆積において有用である。プラズマは一般に、個々の電子ガス分子衝突による運動エネルギーの伝達によって個々のガス分子をイオン化させる自由電子の電界イオン化および生成によって低圧ガスから生成される。電子は通常、電界、一般には高周波電界の中で加速される。

【０００２】

ＲＦ電界中の電子を加速するための多数の技法が提案されている。例えば、米国特許第４９４８４５８号には、処理すべき半導体ウエハの平面的な平行に位置する平面的なアンテナ・コイルを使用して、チャンバ内の高周波電界中で電子を励起するプラズマ発生デバイスが開示されている。図１に、アンテナ・システム１０５、誘電体ウィンドウ１２０、ガス分配プレート１３０、処理すべきウエハ１４０、真空チャンバ１５０、静電チャック１６０、および下側電極１７０を含んでいるプラズマ発生デバイス１００を概略的に示す。

【０００３】

動作に際しては、高周波発生源（図示せず）を使用して、一般に高周波整合回路（図示せず）を介して、アンテナ・システム１０５に高周波電流を供給する。高周波電流は、一般にアンテナ・システム１０５を介して共振し、真空チャンバ１５０内で方位角電界を誘導する。同時に、ガス分配プレート１３０を介してプロセス・ガスを真空チャンバ１５０中に導入すると、誘導された電界によりプロセス・ガスがイオン化してチャンバ１５０内にプラズマが生成される。次いでプラズマは、（静電チャック１６０によって所定の位置に保持された）ウエハ１４０に当たり、ウエハ１４０を必要に応じて処理する（例えば、エッチングする）

。一般に、アンテナ・コイルに加えられる周波数とは異なる周波数である別の高周波数を下側電極 170 に加えて、イオン衝撃用の負の DC バイアス電圧を得る。

【0004】

図 2A および図 2B に、米国特許第 4948458 号に示されているアンテナ・システムを構成する 2 つの渦巻き状の平面的なコイル 110a、110b を示す。図 2A に示すように、第 1 の平面的なコイル 110a は、平面的なスパイラルに形成された一つの導電エレメントとして構成され、高周波回路への接続のために高周波タップ 205、215 に接続されている。図 2B では、別の平面的なコイル 110b は、相互接続 225 を介して直列に接続された複数の接続リング 220 として構成され、各端部が高周波タップ 205、215 に接続されている。

【0005】

当技術分野においてよく知られているように、そのような渦巻き状のコイルによって得られる円状電流パターンはドーナツ形プラズマを作り出し、これによりウエハ 140 におけるエッチング速度に半径方向の不均一性が生じることがある。言い換えれば、平面的なコイル・アンテナ 110 によって誘導的に発生する電界は、一般に、（半径方向成分 $E_r = 0$ および方位角成分 $E_\theta \neq 0$ を有する）方位角電界であるが、中心部では 0 である（ $E_r = 0$ および $E_\theta \neq 0$ ）。したがって、コイル・アンテナ 110 は、中心部においてより低い密度を有するドーナツ形プラズマを生成するので、ドーナツの中心部において適切な均一性を得るためには、プラズマ拡散（すなわち、中心部への電子およびイオンの拡散）を利用しなければならない。ただし、用途によっては、プラズマ拡散によって得られる均一性は不十分である。

【0006】

さらに、そのような渦巻き状のコイル・アンテナは方位角不均一プラズマをつくる傾向がある。これは、平面的なアンテナ・コイルを構成するために使用される結合線路の比較的長い長さが、コイルが一般に動作する高周波数においてかなりの電氣的長さを有することに起因する。電圧波および電流波は入力端部から端

子端部まで順方向に進行し、端子端部において再び反射されることになる。順方向波および反射波の重ね合わせの結果、コイルに定在波が生じる（すなわち、電圧および電流がコイルの長さに沿って周期的に変化する）。コイルを端子端部において接地した場合、端子端部における電流は最大値になり、端子端部における電圧は0になる。入力に向かってコイルに沿って進むと、電圧は増大し、電流は減少し、ついには電気的長さが90度のところで、電圧は最大値になり、電流は最小値になる。そのようなある程度の変化があると、極めて不均一なプラズマが生じる。したがって、平面的なコイルは一般にキャパシタンスで終端され、それによりコイル中の電流はコイルの両端部において同じになり、コイルの中央部の近くで最大値まで増大する。そうするとプラズマ均一性を改善することができるが、電流がコイルの長さに沿って方位角方向に変化するので、方位角不均一性はまだ存在する。例えば、図2Aの点Pは電流最大値である。点Pのいずれかの側で、電流は低下する。したがって、プラズマに結合する電力はPの下でより大きくなり、対応するプラズマはより密になる。反対に、点P'におけるプラズマ密度は比較的低くなる。

【0007】

終端コンデンサ値は変化させることができるが、そうするとコイルに沿った電圧の位置が変化するだけであることに留意されたい。さらに、コイル長さに沿って同じ極性の電圧を得るためにコイルをインダクタンスで終端させることができるが、コイルの中心位置のどこかに電流ゼロが存在することになり（電流はゼロのいずれかの側で反対方向に流れる）、生じたプラズマ密度は容認できないほど低くかつ不均一になることがある。Patrick他の米国特許第5401350号は上述の欠点を克服しようと試みるものである。そこには、プラズマ均一性を改善するための複数平面的なコイル構成が記載されている。個々のコイルへのRF電力は独立して制御され、電力および位相の独立した調整に対処する別個の電力源および別個の整合回路網が必要となる。

【0008】

プラズマ結合システム内で誘導結合均一性を制御するための改善された方法および装置が必要であることは明らかである。

<発明の概要>

本発明は、アンテナ・システム内の誘導結合均一性を改善するためのシステムを提供することによって、従来技術の上記で特定した欠点を克服するものである。アンテナ・コイルの配置および電流分布を制御することによって、プラズマ均一性を改善することができる。

【0009】

例示的な実施形態によれば、2つまたはそれ以上の渦巻き状のコイルがプラズマ・チャンバの誘電体ウィンドウ上に配置される。各コイルは平面的なコイルか、または平面的なコイルと垂直方向に積み重なったらせん状のコイルの両方の組合せのいずれかである。各コイルの入力端部は入力側可変コンデンサに取り付けられ、出力端部は出力側可変コンデンサを介して接地に終端される。出力側コンデンサは、電流が極値（すなわち、最大値または最小値）であるかどうか、または電圧が極値であるかどうかを決定し、入力側コンデンサは、各コイルの全インピーダンスを変化させることができ、これらの複数のコイルの電流の大きさの比を変化させることができる。各コイルにおける電流の大きさおよび最大電流の場所を調整することによって、プラズマ密度、すなわち、プラズマ均一性を制御することができる。

【0010】

以下、本発明の上述した内容、その他の特徴、および、利点について、添付図面に示す例示的な実施形態を参照して詳細に説明する。説明する実施形態は一例であり、また、理解を助けるものであり、多数の同等の実施形態が実現されることはいふまでもない。

<発明の詳細な説明>

図1に、本発明のアンテナ・システムを組み込むことができるプラズマ発生デバイス100を示す。プラズマ発生デバイス100は、誘電体ウィンドウ120、ガス分配プレート130、ウェハ140、真空チャンバ150、静電チャック160、下側電極170およびアンテナ・システム105を含んでいる。アンテナ・システム105は、RF整合回路網（図示せず）とRF発生器（図示せず）に接続された一組のコイル110を含んでいる。

【0011】

本発明の例示的な実施形態によれば、このアンテナ・システムは、Trans Plasma (TCP™、ラム リサーチ コーポレーションの登録商標) アンテナ・システムである。図3に、本発明の第1の実施形態によるTCP™アンテナ・システム300を示す。この実施形態では、TCP™アンテナ・システム300は2つの単巻コイルを含んでいる。コイル1は中心部の近くに置かれることが好ましく、コイル2は反応器の上部開口の外縁部に向かってより遠くに置かれることが好ましい。高周波(RF)電流が2つの調整コンデンサ C_1 および C_2 を介してコイル1および2の一方の端部に同時に供給される。当技術分野においてよく知られているように、RF入力はRF発生源310によって発生され、RF整合回路網320を介してコンデンサ C_1 および C_2 に供給される。調整コンデンサ C_1 および C_2 は、それぞれ調整すべきコイル1および2の電流 I_1 および I_2 の大きさに対処する。コイル1およびコイル2の反対側の端部は結合され、インピーダンス Z_T を介して接地に終端される。

【0012】

平面的な単巻コイルによって誘導的に発生した電界は方位角電界(半径方向成分 $E_r = 0$ および方位角成分 $E_\theta \neq 0$)であるが、中心部では0である($E_r = 0$ および $E_\theta \neq 0$)。誘電体ウィンドウ表面の近くでは、プラズマ中の誘導電界および誘導電流($J = \sigma E$)はほぼ駆動コイルの鏡像である。平面的なコイル・アンテナは、駆動コイルの半径の2分の1に近い半径をもつドーナツ形プラズマを生成する。2つのコイルを離して置くことによって、これは、2つのコイルの平均半径の2分の1にほぼ等しい半径を有するより漸進的なプラズマ・ドーナツを効果的に発生する。内側コイルからプラズマへの電力結合は内側領域内に局所化され、外側コイルからの電力結合は外側領域内に局所化される。その結果、プラズマ拡散(すなわち、電子およびイオンの拡散)は中心部および他の場所におけるプラズマ密度をより均一にする傾向がある。

【0013】

上記のように、2つの単巻コイルに関連する回路(すなわち、コンデンサ C_1 および C_2 およびインピーダンス Z_T)は、コイル1とコイル2における電流の大

きさ、すなわちそれぞれ I_1 と I_2 の比を調整することができる。電流の大きさを調整することによって、反応器の中心部と縁部の間のプラズマ均一性を調整することができる。当業者なら理解できるように、 C_1 および C_2 は固定コンデンサでも可変コンデンサでもよい。

【0014】

入力側調整コンデンサ C_1 および C_2 は各コイルの入力誘導リアクタンスを部分的に消去する。 C_1 および C_2 の値を適切に選択すれば、各脚の入力リアクタンスは同じになり、その結果、共通の発生源から供給されたときのコイル1 およびコイル2 への入力電流が等しくなる。これらの開始値から C_1 をより高く、 C_2 をより低く調整すると、コイル1 の電流は減少し、コイル2 の電流は増大する。方向を逆にすると、反対方向における電流は不平衡になる。調整プロセス中、一方の脚は増大したリアクタンスを有し、他方の脚は減少したリアクタンスを有するので、複合回路の入カインピーダンスは名目上同じままである。

【0015】

コイル1 とコイル2 の反対側の端部はインピーダンス Z_T で終端することができる。 Z_T は、従来のTCPTMシステムの場合と同様に共通のコンデンサか、あるいは接地への電氣的に短絡した接続でもよい。 Z_T は、接地に終端された別個のコンデンサとすることもできる。各コイルが異なる電氣的長さを有する場合、各コイルの入カインピーダンスも異なる。電流最大値が名目上各コイル長さの中心部に現れるように、別個の終端コンデンサを選択することができる。

【0016】

2つのコイルが対称的に平衡しているとき、各コイルに流れる電流は名目上同じになる。 C_1 および C_2 の値を変化させると、コイル1 およびコイル2 への不平衡な電流の流れが得られることが当業者なら理解できよう。入力リアクタンス X_1 および X_2 が誘導性であると仮定すると、 C_2 は、例えば、 $X_1 > X_2$ という平衡状態から離れて増大すると、 $I_1 > I_2$ である。この場合、内側コイル（コイル1）中の電流は、反応器の中心部により強い誘導結合を生じる外側コイルよりも大きくなる。その結果、比較的高いプラズマ密度がコイル1 の下の中心領域内に生じる。別の場合では、外側コイル（コイル2）中の電流を内側コイル中の電流よ

りも大きくなるように調整し、それにより反応器壁の近くのような、内側コイルを覆っている領域におけるよりも低いプラズマ密度を補償することができる。

【0017】

上述の2つの単巻コイルの使用法を説明のために簡単に示す。上記の一般原則は複巻コイル、複巻システムに同等に適用可能であることが当業者なら理解できよう。さらに、本発明は（図3に示される）二次元コイルの構成に限定されるものではなく、代わりに三次元コイル構成として実現することもできる。例えば、コイルは、ドーム形誘電体ウィンドウに一致するように構成するか、あるいは円筒形誘電体ウィンドウの周りにらせん状に構成することができる。上記の一般原則は、複数の巻きの複数のコイルを有するドーム形、らせん状、または他の三次元の構成を同様に適用可能であることが当業者なら理解できよう。

【0018】

図4に、本発明の第2の実施形態によるTCPTMアンテナ・システム400を示す。図4には、2つの調整コンデンサ $C_1 \sim C_4$ が取付けられた2つの複巻コイル（コイル1およびコイル2）が示されている。図から明らかなように、コイル1は中心部に配置されおり、コイル2は反応器の上部開口の外縁部に向かってより遠くに配置されていることが好ましい。RF入力は、調整コンデンサ C_1 および C_2 を介してコイル1および2の第1の端部に同時に供給される。コイル1および2の反対側の端部はそれぞれ調整コンデンサ C_3 および C_4 を介して終端される。図3を参照して上述した二重のコイル単巻システムの場合と同様に、2つのコイルはより漸進的なドーナツ形プラズマを効果的に発生する。電流 I_1 および I_2 は同じ方向に流れるので、コイルからプラズマへの電力結合は領域全体に広がり、単一の平坦化されたドーナツ形プラズマを生成する。電流が不平衡である場合、ドーナツ形電界は中心部または外側においてより強くなる。

【0019】

コイルに沿ってより対称的な電流分布を得るために、各コイルごとに2つのコンデンサが設けられる。例えば、電流最大値（ならびに純抵抗性インピーダンス点）がコイル1の中心部に現れるように、 C_1 を C_3 と一緒に調整することができる。コイルの中心部から C_1 に向かって移動すると、リアクタンスは誘導性にな

り、コイルの中心部から C_3 に向かって移動すると、リアクタンスは容量性になり、それにより電流は中心部において最大になり、名目上正弦波の形で中心部から離れて減少する。

【0020】

さらに、 C_3 と C_4 の調整により上述の方位角不均一プラズマを補償することができる。例えば、図4のコイル1の点 P_1 において最大電流が得られるように、 C_3 を調整することができる。その結果、プラズマへの電力結合は P_1 の下でより大きくなり、対応するプラズマ密度はより高くなる。これは方位角不均一性を生じる傾向がある。ただし、 C_4 を調整すれば、 P_1 に対向する半径方向軸に沿ったコイル2中の場所 P_2 において最大電流を得ることができる。したがって、 P_2 におけるコイル2のより大きい電力結合がコイル1による影響を相殺し、その結果、より方位角的に均一なプラズマが生じる。 C_3 と C_4 の調整の別法として、コイル1およびコイル2中の電流最大値がそれぞれ P_1 および P_2 のところに現れるように、コイル1の方位角位置をコイル2の方位角位置に対して物理的に回転させることができる。

【0021】

本発明の例示的な実施形態によれば、調整コンデンサ C_1 および C_2 は、1回の制御により反対方向に回転するように構成することができる。このようにすると、入力において単一の従来の整合回路網を妨害することなしに、単一の発生器からの1回の制御により電流の不平衡を、ひいてプラズマ不均一性を最適化することができる。同様に、 C_3 と C_4 を反対方向に調整しても、 C_1 と C_2 を調整するのと同じ効果が得られる。

【0022】

コイル中の巻数が増加するにつれて、コイルとプラズマの間の相互結合は、変圧器の一次コイル（すなわち駆動コイル）と二次コイル（すなわちプラズマ）の間の相互結合と同様の形で変化する（Albert J. Lammの、“Observations of Standing Waves on an Inductive Plasma Coil Modeled as a Uniform Transmission Line”, J. Vac. Sci. Tech A, 15巻 No. 5 1997年9月/10月 2615頁を参照されたい。）。巻数の増大/減少はプラズマの密度に影響を及ぼ

す。例えば、巻数が増大すると相互結合係数が減少し、それによりプラズマ密度が低くなる。一方、コイル長さが短縮された場合、コイル長さにわたって統合された全体的なプラズマの発生が減少する。したがって、各コイルの巻数および全長を最適化して、これら2つのファクタをつりあわせることが可能であることが当業者なら理解できよう。

【0023】

入力側調整コンデンサ C_1 および C_2 の値を変化させる影響を説明するために、以下の3つの状況、すなわち、 C_1 の値が C_2 の値よりも大きい最初の状況、 C_1 と C_2 の値が等しくなるように調整される第2の状況、および C_1 の値が C_2 の値よりも小さい最後の状況について考えてみる。

【0024】

TCPTMコイル・アンテナの複素伝搬定数($k = \alpha + j\beta$)は、コイル・アンテナの入力および出力における電圧および電流波形測定値から推測することができる(Lammを参照されたい。)。説明のために、 α 、 β および実効特性インピーダンス Z_0 は3つの状況を通して同じであると仮定する。表1に各コイルの α 、 β 、 Z_0 、電気的長さ、および $C_1 \sim C_4$ の値を示す。

【0025】

【表1】

表1 損失の大きい伝送線路としての二重のコイル・アンテナ回路ーケース (a)

	$\alpha = 6.89 \times 10^{-4} / \text{度}$	$\beta = 1.145 \text{ 度} / \text{インチ}$	$Z_0 = 110 \Omega$	
	入力コンデンサ (pF)	長さ (度)	出力コンデンサ (pF)	$Z_{in} (\Omega)$
コイル 1	$C_1 = 615.2$	45	$C_3 = 257.6$	$4.0 + j26.4$
コイル 2	$C_2 = 415.2$	45	$C_4 = 257.6$	$4.0 + j17.2$

【0026】

表1において、 Z_{in} は各コイルの入カインピーダンスを表す。2つのコイルの全入カインピーダンスは $2 \cdot 1 + j10.5 \Omega$ であり、これは各コイルの Z_{in} の約2分の1である。表11に、1000Wの入力RF電力および表1に記載され

ているパラメータが与えられたときの i 番目のコイルの I_i 、 I_i' 、 V_i および V_i' の大きさおよび位相角を掲載する。表 I I において、 I_i は、 i ($i = 1, 2$) 番目のコイルの (図 4 の RF 入力により近い) 入力端部における電流を表し、 I_i' は、 i 番目のコイルの (図 4 の C_3 および C_4 により近い) 出力端部における電流を表し、 V_i および V_i' はそれぞれ i 番目のコイルの入力端部および出力端部における電圧を表す。

【0027】

【表 2】

表 II 2つのコイルの入力および出力における RF 電流および電圧

i 番目の コイル	入力電流		出力電流		入力電圧		出力電圧	
	$(I_i)_{rms}$	角度	$(I_i')_{rms}$	角度	$(V_i)_{rms}$	角度	$(V_i')_{rms}$	角度
コイル 1	8.7 A	-3°	8.7 A	-3°	399 V	+82°	398 V	-93°
コイル 2	13.2 A	+2°	13.2 A	+1°	603 V	+87°	601 V	-89°

22

【0028】

表 I I から明らかなように、RF 電流および電圧は 2 つのコイルの間で不平衡であるが、各コイル内では平衡である。内側コイルの全インピーダンスは外側コイルの全インピーダンスよりも大きいので、内側コイル (コイル 1) の電流と電圧はどちらも外側コイル (コイル 2) の電流と電圧よりも 34% 小さい。各コイルはコイルの中心部の周りに対称的に平衡しており、したがって各コイルの入力電流および電圧の値は大きさが出力値にほとんど等しい。各コイルの中心部から離れると、インピーダンスは、コイルの入力端部に向かって誘導性に支配されるようになり、出力端部に向かって容量性に支配されるようになる。これは、入力電圧と出力電圧の間の位相角の変化から明らかである。

【0029】

($C_1 = C_2$ となるように) C_1 と C_2 の値を変化させることが電流 I_1 と I_2 に及ぼす影響を以下の表 I I I および I V に示す。

【0030】

【表 3】

表 III 損失の大きい伝送線路としての二重のコイル・アンテナ回路－ケース (b)

	$\alpha = 6.89 \times 10^{-4} / \text{度}$	$\beta = 1.145 \text{ 度} / \text{インチ}$	$Z_0 = 110 \Omega$	
	入力コンデンサ (pF)	長さ (度)	出力コンデンサ (pF)	$Z_{in} (\Omega)$
コイル 1	$C_1 = 515.2$	45	$C_3 = 257.6$	$4.0 + j22.7$
コイル 2	$C_2 = 515.2$	45	$C_4 = 257.6$	$4.0 + j22.7$

【0031】

2つのコイルの全入力インピーダンスは $2.0 + j11.4 \Omega$ であり、これは各コイルの Z_{in} の約2分の1である。表IVに、1000Wの入力RF電力および表IIIに記載されているパラメータが与えられたときのi番目のコイルの I_i 、 I_i' 、 V_i および V_i' の大きさおよび位相角を掲載する。

【0032】

【表4】

表 IV 2つのコイルの入力および出力における RF 電流および電圧

i 番目の コイル	入力電流		出力電流		入力電圧		出力電圧	
	$(I_i)_{rms}$	角度	$(I_i')_{rms}$	角度	$(V_i)_{rms}$	角度	$(V_i')_{rms}$	角度
コイル 1	11.2 A	0°	11.2 A	-1°	511 V	$+85^\circ$	510 V	-91°
コイル 2	11.2 A	0°	11.2 A	-1°	511 V	$+85^\circ$	510 V	-91°

【0033】

$C_1 = C_2$ および $C_3 = C_4$ であり、コイル1はコイル2と同等であるので、RF電流および電圧は2つのコイル間ならびに各コイル内で平衡している。

【0034】

最後の状況は、 C_1 の値が C_2 の値よりも小さくなるように C_1 と C_2 の値を変化させることの影響を示す。

【0035】

【表5】

表 V 損失の大きい伝送線路としての二重のコイル・アンテナ回路ーケース (c)

	$\alpha = 6.89 \times 10^{-4} / \text{度}$	$\beta = 1.145 \text{ 度} / \text{インチ}$	$Z_0 = 110 \Omega$	
	入力コンデンサ (pF)	長さ (度)	出力コンデンサ (pF)	$Z_{in} (\Omega)$
コイル 1	$C_1 = 415.2$	45	$C_3 = 257.6$	$4.0 + j17.2$
コイル 2	$C_2 = 615.2$	45	$C_4 = 257.6$	$4.0 + j26.4$

【0036】

2つのコイルの全入力インピーダンスは $2.1 + j10.5 \Omega$ であり、これは各コイルの Z_{in} の約2分の1である。表VIに、1000Wの入力RF電力および表IIIに記載されているパラメータが与えられたときのi番目のコイルの I_i 、 I_i' 、 V_i および V_i' の大きさおよび位相角を掲載する。

【0037】

【表6】

表 VI 2つのコイルの入力および出力における RF 電流および電圧

	入力電流		出力電流		入力電圧		出力電圧	
i 番目のコイル	$(I_i)_{rms}$	角度	$(I_i')_{rms}$	角度	$(V_i)_{rms}$	角度	$(V_i')_{rms}$	角度
コイル 1	13.2 A	+2°	13.2 A	+1°	603 V	+87°	601 V	-89°
コイル 2	8.7 A	-3°	8.7 A	-3°	399 V	+82°	398 V	-93°

【0038】

この場合、内側コイル（コイル1）のRF電流と電圧はどちらも外側コイル（コイル2）の電流と電圧よりも51%大きい。

【0039】

C_1 と C_2 を変化させるだけで、他方のコイルの電流および電圧に対してコイルの電流ならびに電圧を実質上調整することができることが、上記の状況から明らかである。

【0040】

図5に本発明の第3の実施形態を示す。図5では、2つの複巻コイルおよび4つの調整コンデンサ $C_1 \sim C_4$ の他に、らせん状のコイルが設けられている。この

実施形態によれば、内側コイル（コイル１）は２つの部分からなる。部分１は、図４に関して上述した平面的な複巻コイルを表す。部分１は、平面的な複巻コイルに対して垂直に置かれ、平面的なコイル（コイル１およびコイル２の部分１）の軸と同一の軸を有するらせん状のコイルを表す。

【００４１】

この実施形態では、内側コイルの電氣的長さは、コイル１およびコイル２がそれらの電氣的長さに関してより平衡するように延長されている。２つの電氣的長さが互いに近接しているとき、各コイルへの電流をより大きい程度まで調整するとともに、より一定の複素入力インピーダンスを維持することができる。本発明によるらせん状のコイルは中心部におけるプラズマへの誘導結合を助ける。らせん状のコイルによって発生される電界も方位角電界であり、中心部において０であるが、この方位角電界の平均半径はらせん状のコイルの直径の程度である。したがって、中心部におけるプラズマをより密にして、よりよい全体的な均一性を得ることができる。

【００４２】

らせん状のコイルの中央部にあるシリンダは誘電体材料でできており、中実にすることにより単に巻線を機械的に支持するが、あるいはその軸に沿って中空にすることもできる。後者の場合、中空シリンダは上端部が真空密封され、また、シリンダの中空領域がチャンバに直接接続されるように底端部が開いている。そのような場合、プロセス・ガスは真空チャンバにだけでなく、中空シリンダにも導入される。シリンダはプラズマ反応器の誘電体ウィンドウの一部と考えることもできる。中空シリンダ中のプラズマ密度は、比較的強い誘導電界および中空陰極効果のためにチャンバ中よりも高くなることがある。中空シリンダ中で生成されるプラズマはチャンバの中心部に拡散する。さらに、一般に１０ｍートル未満の低圧状況において放電を容易に当てることができるように、比較的高い電圧が終端コンデンサ C_3 によって調整され得る。

【００４３】

図６に本発明の第４の実施形態を示す。この実施形態によれば、各コイル（コイル１およびコイル２）は２つの部分からなる。部分１は平面的な複巻コイルの

形態であり、部分2はらせん状のコイルの形態であって平面的な複巻コイル（すなわち、部分1）に対して直角に置かれ、部分1の軸と同一の軸を有する。

【0044】

入力高周波はコイル1およびコイル2の平面的な複巻コイルからアンテナ・システム600に入り、また電流が両方のコイル中を同じ方向に流れるように、らせん状のコイルから出る。コイル1およびコイル2の同等の電氣的長さを得るために、コイル2のらせん状のコイル（部分2）は平面的な複巻コイル（コイル2の部分1）の最も内側の巻線と同じ半径を有し、コイル1のらせん状のコイル（部分2）は平面的な複巻コイル（コイル1の部分1）の最も外側の巻線と同じ半径を有する。コイル1およびコイル2のらせん状のコイルの巻数は、コイル1およびコイル2の電氣的全長がほぼ等しくなるように選択される。コイル1および2のリング間の小さな開口が整列していないことは図6から明らかである。開口が整列している構成とすることは可能であるが、そのような構成にすると、開口の場所におけるプラズマへの電力結合が小さくなるのが当業者なら理解できよう。

【0045】

入力調整コンデンサ（ C_1 および C_2 ）および出力調整コンデンサ（ C_3 および C_4 ）は図3～図5に関して上述したものと同様の形でコイル中の電流分布の調整を可能にする。本実施形態は一方のコイル中の電流を独立して調整できることと点で有利である。図3～図5に示した上述の実施形態では、各コイルへの電流は主として、入力インピーダンスを変化させる入力調整コンデンサによって調整される。一方のコイルの入力インピーダンスが変化するにつれて、コイルが電氣的に並列に接続されているので、全入力インピーダンスが変化する。これにより一方のコイル中の電流が変化するだけでなく、他方のコイル中の電流も変化することになる。言い換えれば、2つのコイルの電流調整は独立ではない。したがって、全入力インピーダンスのそのような変化を補償するために整合回路網を再同調させなければならない。これは、整合回路網の同調範囲が有限でありかつ制限されているので、すべての用途において実行可能であるとは限らない。

【0046】

図6において、平面的な複巻コイル（部分1）中の場所か、またはらせん状のコイル（部分2）中の場所に対して出力コンデンサを調整することによって、各コイルの電流最大値の場所を調整することができる。電流最大値が平面的な複巻コイル中のどこかにあるときには、平面的なコイルがプラズマにより近いので、プラズマへの高周波の電力結合は比較的大きい。同様に、電流最大値がらせん状のコイル中のある場所にある場合、らせん状のコイルがプラズマからより離れており、平面的な複巻コイル中で電流が低下するので、プラズマへの電力結合は弱くなる。したがって、出力コンデンサのみの調整では、最大電流の場所とプラズマへの電力結合の大きさが同時に変化することになる。出力コンデンサが調整されるのと同時に、コイルの比較的不変の入カインピーダンスを維持するために、入力コンデンサは反対方向に調整されることになる。このようにして入力および出力コンデンサを調整することにより、電流の大きさは実質上変化しないが、コイル中の電流定在波パターンがシフトし、これによりプラズマへの電力結合が効果的に変化することが当業者なら理解できよう。その結果、プラズマ均一性を制御可能に維持できるようになる。

【0047】

図7に本発明の第5の実施形態による二重コイル結合システムを示す。図7の二重のコイル結合システムは平行なアンテナ・エレメントを使用する。2つのコイル（コイル1およびコイル2）は対称的であり、コイルの各ループは半円と平行とのアンテナ・エレメントからなる。RFは各コイル（平行軸により近い）の平行エレメントの中央に同時に供給され、コイルの他の端部は結合され、コンデンサ C_1 を介して接地に終端される。

【0048】

渦巻き状の平面的なコイルとは対照的に、平面的なアンテナ結合方式は常に比較的大きい電界を中心部において生成し、したがってプラズマ均一性を本質的に改善する（J.J. Chen他、“Parallel-Antenna Transformer-Coupled Plasma Generation System” 米国特許出願第09/052144号、出願日1998年3月31日を参照されたい）。従来のTCP™コイルと同様に、各コイルによって生成されたプラズマはドーナツ形であり、コイル1では ϕ_1 の周り、コイル2では ϕ_2

の周りを中心とすることができる。単一のTCPTMと比較して、各プラズマ・ドーナツの半径はかなり短く、それにより従来のTCPTMシステムと比較して、プラズマがドーナツの中心部に拡散しやすくなる。この結合システムの利点は、各コイルの電氣的長さがほぼ2分の1になるので、各コイルに沿ったRF電流および電圧の変化がより小さくなることである。

【0049】

以上、本発明の原理、好ましい実施形態および動作モードについて説明した。ただし、本発明は上述した特定の実施形態に限定されるものではない。すなわち、上述した実施形態は限定的なものではなく例示的なものであり、当業者であれば、請求の範囲に記載された本発明の範囲から逸脱することなく、それらの実施形態に変更を加えることができることはいうまでもない。

【図面の簡単な説明】

【図1】

処理チャンバ中に高周波エネルギーを結合するために使用される誘電体ウィンドウの上部にアンテナ・システムが置かれているプラズマ反応器を示す図である。

【図2A】

従来の渦巻き状の平面的なコイル・アンテナを示す図である。

【図2B】

別の従来の渦巻き状の平面的なコイル・アンテナを示す図である。

【図3】

本発明の第1の実施形態による二重の平面的な単巻コイルの構成例を示す図である。

【図4】

本発明の第2の実施形態による二重の平面的な複巻コイルの構成例を示す図である。

【図5】

本発明の第3の実施形態による、内側にらせん状のコイルをもつ二重の平面的な複巻コイルの構成例を示す図である。

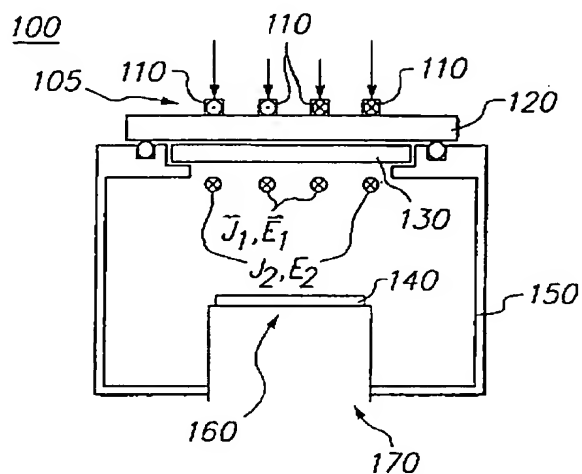
【図6】

本発明の第4の実施形態による、内側及び外側の両方にらせん状のコイルを有する二重の平面的な複巻コイルの例示的な構成を示す図である。

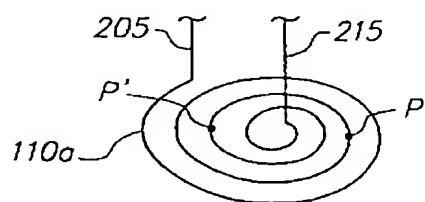
【図7】

本発明の第5の実施形態による、平行アンテナ・エレメントをもつ二重の平面的な複巻コイルの構成例を示す図である。

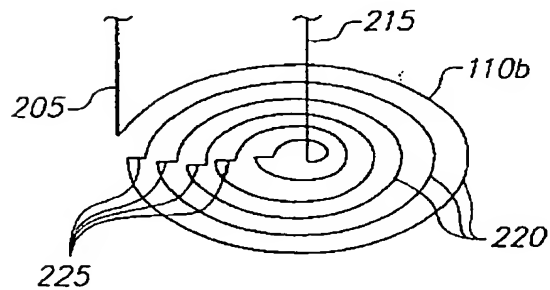
【図1】



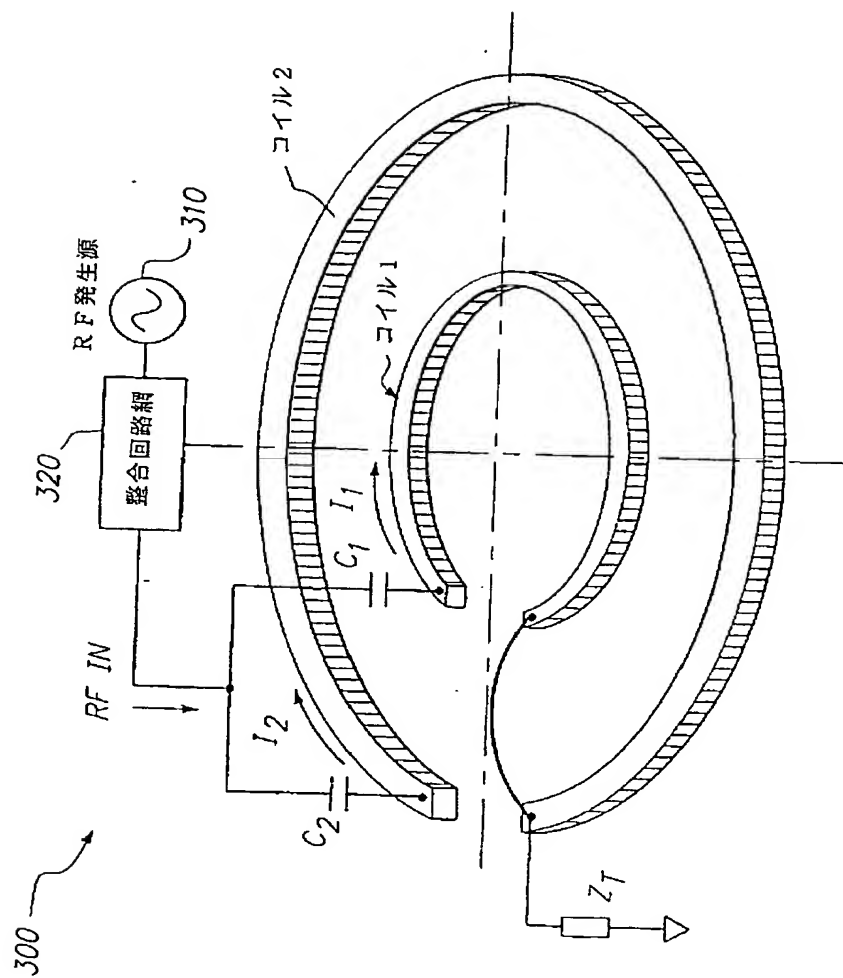
【図2A】



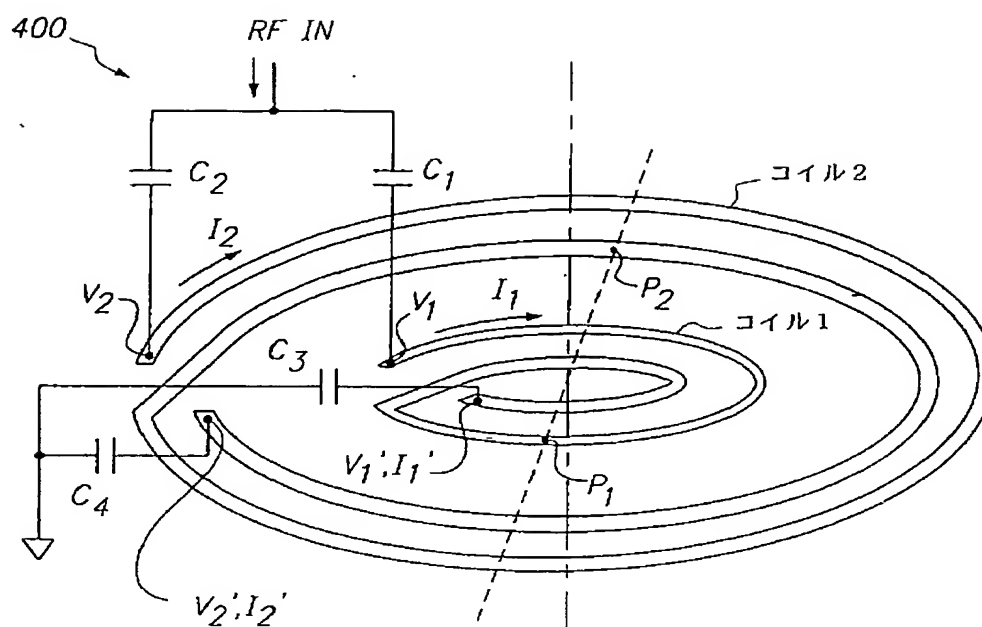
【図2B】



【図3】



【図4】



【図5】

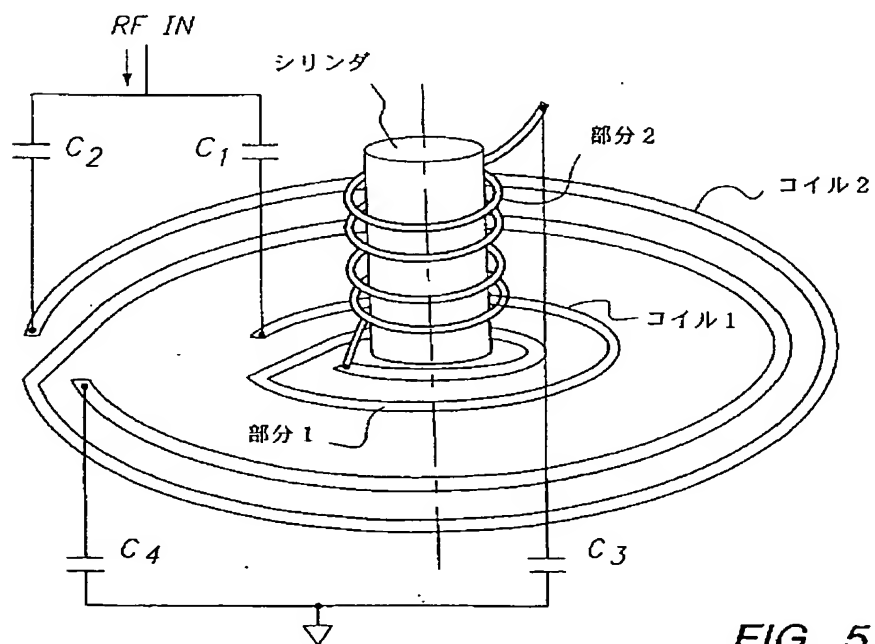
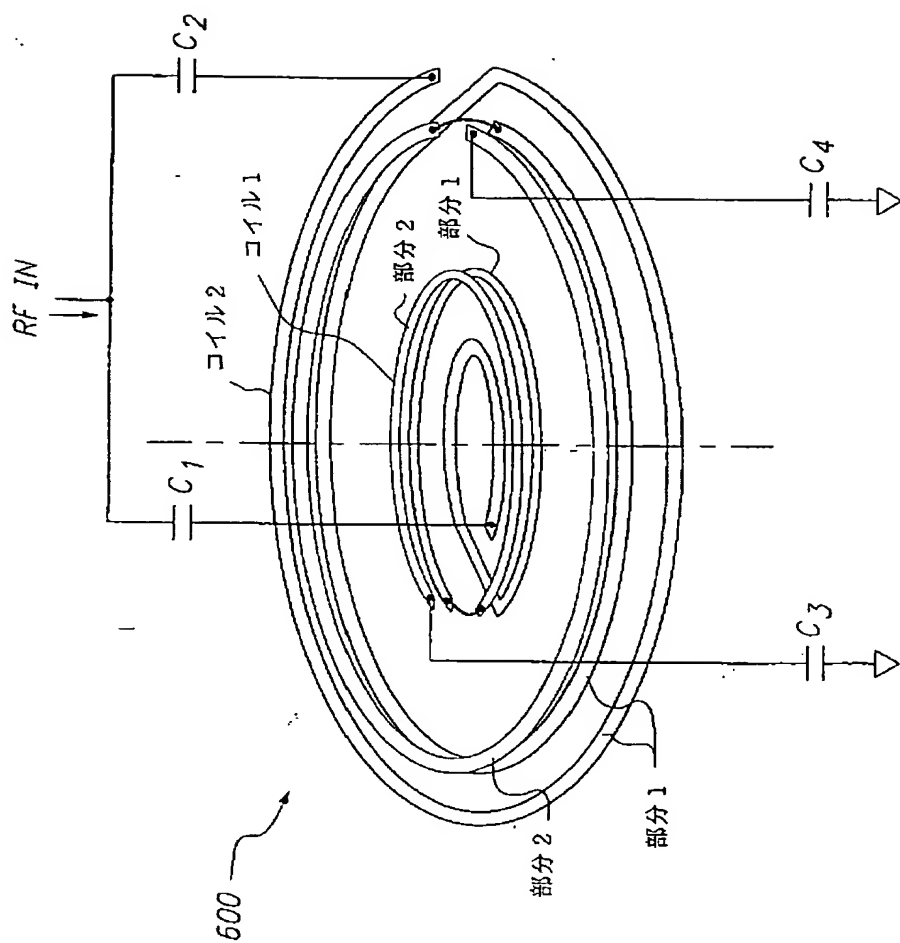
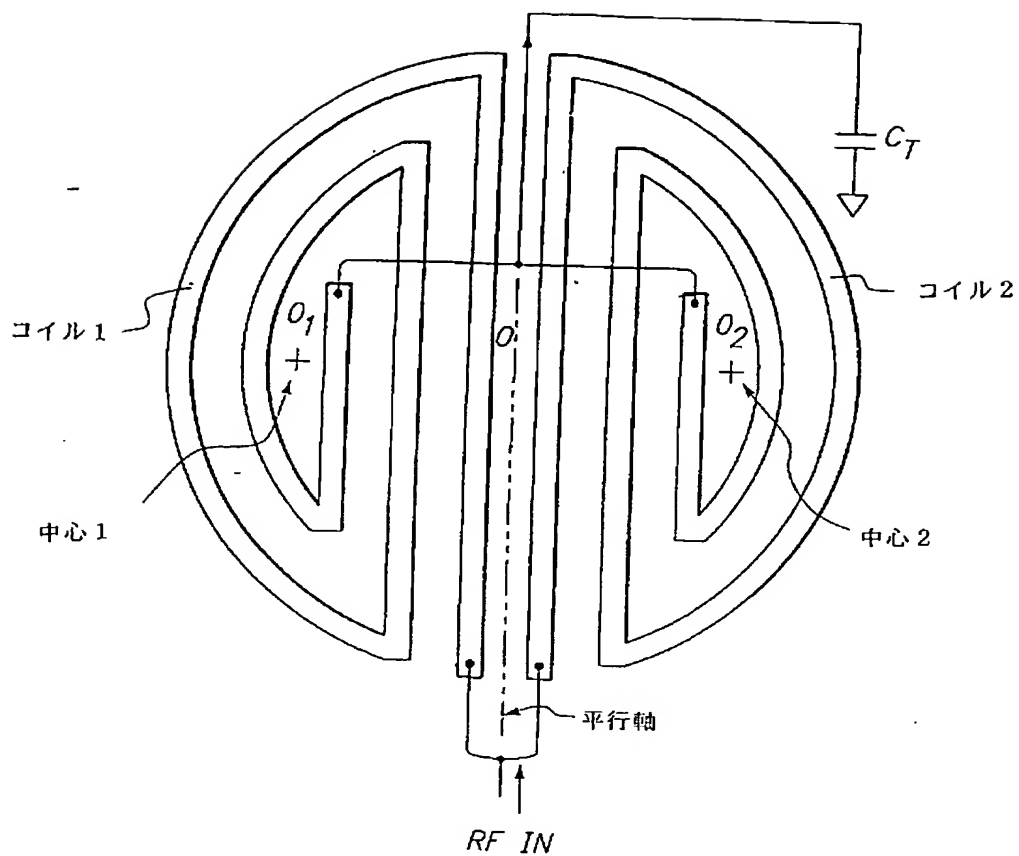


FIG. 5

【図6】



【図7】



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/US 99/12808

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01J37/32

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 838 843 A (APPLIED MATERIALS INC) 29 April 1998 (1998-04-29)	1-3,6, 10, 16-18, 20, 22-24, 62,63
A	column 6, line 29 - line 36 column 25, line 37 - line 48 column 29, line 46 - column 30, line 2 figures 16,32,33	19,21, 36, 47-49, 55-61,65

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"A" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 October 1999

Date of mailing of the international search report

29/10/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2200 HV Rijswijk
Tel: (+31-70) 340-2040, Tx: 31 651 epo nl
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Capostagno, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 (International Application No.
 PCT/US 99/12808

C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 833 367 A (APPLIED MATERIALS INC) 1 April 1998 (1998-04-01) page 5, line 11 - line 17 figure 2 ----	1,4,10, 16,17, 19-21, 59,61, 62,65
X	EP 0 759 632 A (TOKYO ELECTRON LIM.) 26 February 1997 (1997-02-26) column 16, line 36 - column 19, line 12 figures 13-16 ----	50, 55-58,64
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1996, no. 10, 31 October 1996 (1996-10-31) & JP 08 148476 A (SONY CORP), 7 June 1996 (1996-06-07) abstract ----	52
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1996, no. 10, 31 October 1996 (1996-10-31) & JP 08 148476 A (SONY CORP), 7 June 1996 (1996-06-07) abstract ----	7-9, 33-35
A	EP 0 810 816 A (APPLIED MATERIALS INC) 3 December 1997 (1997-12-03) figure 2 ----	12,13, 37,38

Form PCT/ISA/210 (Continuation of second sheet) (July 1992)

page 2 of 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.
PCT/US 99/12808

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0838843 A	29-04-1998	JP 10189296 A	21-07-1998
EP 0833367 A	01-04-1998	US 5919382 A	06-07-1999
		JP 10125663 A	15-05-1998
		SG 53081 A	28-09-1998
EP 759632 A	26-02-1997	JP 9069399 A	11-03-1997
		JP 9115895 A	02-05-1997
		US 5716451 A	10-02-1998
		JP 10074736 A	17-03-1998
JP 08148476 A	07-06-1996	NONE	
EP 0810816 A	03-12-1997	JP 10083898 A	31-03-1998

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AP(GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, UG, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, UZ, VN, YU, ZW

(72)発明者 ヴィルトロップ, ロバート, ジー.
アメリカ合衆国 アイダホ州 83703,
ボイズ, エヌ. パリセイズ ウェイ
10224

(72)発明者 ウィッカー, トーマス, イー.
アメリカ合衆国 ネバダ州 89511, レ
ノ, フェアビュー ロード 4430

Fターム(参考) 5F004 AA01 BA20 BB11 BB32
5F045 AA08 EF05 EH02 EH04 EH11
EH19 EM05